

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10-294510

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/07

H 0 1 S 3/07

G 0 2 F 1/35 5 0 1

G 0 2 F 1/35 5 0 1

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10 Z

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00 J

10/16

M

審査請求 未請求 請求項の数 12

OL

(全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-36382

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

(22) 出願日 平成10年(1998)2月18日

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(31) 優先権主張番号 特願平9-34067

(72) 発明者 増田 浩次

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(32) 優先日 平9(1997)2月18日

(72) 発明者 相田 一夫

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 鈴木 謙一

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

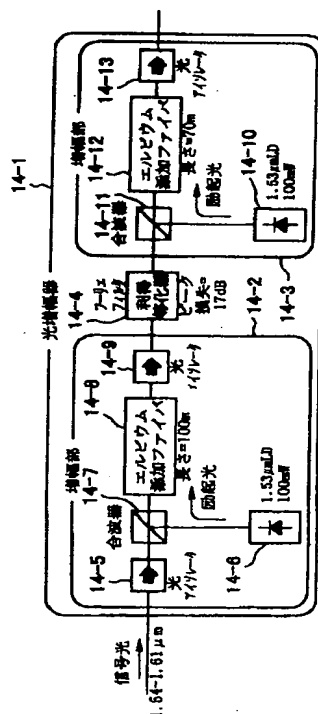
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 利得平坦帯域が広く、高飽和出力・低雑音な光増幅器を提供する。

【解決手段】 本発明では、利得媒質としてエルビウム添加ファイバ (EDF) を用い、2段階の増幅構成をとっている。エルビウム添加濃度は1000ppmとし、1550nmにおける信号光の未飽和吸収係数は1dB/mとする。EDF・14-8の長さは100mであり、EDF・14-12の長さは70mである。励起光源14-6、14-10は1.53μmの半導体レーザであり、励起光パワーは100mWである。合波器14-7、14-11は誘電体多層膜フィルタであり、利得等化器14-4はフーリエフィルタである。該フーリエフィルタのピーク損失は17dBである。EDF・14-8の利得は25dBであり、EDF・14-12の利得は15dBである。光アイソレータをレーザ発振防止のため、前段増幅部に2個、後段増幅部に1個設置している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 希土類添加ファイバを利得媒質とする長尺な利得媒質を 2 以上の整数である  $N$  個に分割し、該分割した利得媒質と、該利得媒質の有効励起波長を  $1.53\mu\text{m}$  となる励起光を出力する励起光源とを含む  $N$  個の増幅部と、

前記  $N$  個の増幅部の各間に設置され、前記利得媒質の広波長域で有効となる  $(N-1)$  個の利得等化器とを備えたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 前記励起光は、励起波長の異なる複数の励起光からなることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 3】 前記希土類添加ファイバは、エルビウム添加ファイバであることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 4】 前記光増幅器は、該光増幅器が接続されるシリカファイバ伝送路に対しラマン増幅励起光を送る励起光源をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 5】 前記光増幅器は、入力側に方向性結合器を備え、前記ラマン増幅励起光は、前記方向性結合器を介して前記ラマン増幅部に送られることを特徴とする請求項 4 記載の光増幅器。

【請求項 6】 前記ラマン増幅励起光の波長は、前記光増幅器による増幅帯が広帯域化される波長であることを特徴とする請求項 5 記載の光増幅器。

【請求項 7】 前記希土類添加ファイバは、エルビウム添加ファイバであり、

前記光増幅器による増幅帯が広帯域化されるラマン増幅励起光の波長は、 $1.49$  から  $1.53\mu\text{m}$  の範囲であることを特徴とする請求項 6 記載の光増幅器。

【請求項 8】 前記増幅部は、前記励起光源による第 1 の励起光波長と異なる所望の第 2 の励起光が信号光と同方向に発振するリング構成を備えたことを特徴とする請求項 2 記載の光増幅器。

【請求項 9】 前記リング構成は、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第 2 の励起光を狭帯域に合波・分波する WDM カプラを含むことを特徴とする請求項 8 記載の光増幅器。

【請求項 10】 前記増幅部は、前記励起光源による第 1 の励起光波長と異なる所望の第 2 の励起光が信号光と逆方向に発振するリング構成を備えたことを特徴とする請求項 2 記載の光増幅器。

【請求項 11】 前記リング構成は、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第 2 の励起光の合波を行う方向性結合器を含むことを特徴とする請求項 10 記載の光増幅器。

【請求項 12】 前記リング構成は、前記第 1 の励起光と同波長の励起光を発する第 2 の励起

光源と、

前記第 2 の励起光源による励起光を前記リング構成に光合波する合波器とをさらに備えたことを特徴とする請求項 10 記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ伝送系や光信号処理系において必要とされる光増幅器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光ファイバ伝送系で使用される従来技術の光増幅器の構成を図 23～図 25 に示す。図 23、図 24、図 25 はそれぞれ、従来技術の光増幅器の第 1、第 2、第 3 の構成である。

【0003】 図 23 において、光増幅器 23-1 は、増幅部 23-2 および利得等化器 23-3 よりなる。その光増幅器 23-1 は、伝送ファイバ 23-4、23-5 に接続されている。多波長の信号光が、その光増幅器 23-1 に入射し、増幅される。前記増幅部 23-2 は、利得媒質 23-6（希土類添加ファイバまたは導波路）、励起光源 23-7、および、利得媒質 23-6 の前段に設置された光部品 23-8（励起光と信号光の合波器、光アイソレータ等）と、利得媒質 23-6 の後段に設置された光部品 23-9（光アイソレータ等）よりなる（参考文献：Massicott et al., Electron. Lett., vol. 26, No. 20, pp. 1645-1646, 1990）。

【0004】 図 23 の構成の光増幅器 23-1 の利得特性を、図 26 (a)～図 26 (c) に示す。図 26

(a) は、利得媒質 23-6 の利得の波長依存性を示している。図 26 (a) で、利得のピーク値は約  $30\text{ dB}$ 、利得平坦帯域（例えば、 $3\text{ dB}$  利得低下帯域）は約  $10\text{ nm}$  である。利得等化器 23-3 の損失を図 26

(b) に示す。その損失のピーク値は、約  $10\text{ dB}$  である。図 26 (a) の利得から図 26 (b) の損失を引いた値が、光増幅器 23-1 の利得であるが、それを図 26 (c) に示す。ただし、簡単のため、光部品 23-8 と光部品 23-9 の損失は無視した。利得等化器 23-3 を用いたことで、利得平坦帯域は約  $30\text{ nm}$  に増加した。このように、利得平坦帯域が広がれば、信号光波長間隔が等しい場合、より多くの波長の（したがって多くのチャンネルの）信号光を同一利得で増幅できるという利点がある。

【0005】 図 24 は、図 23 と同様の利得特性を有するが、図 23 に比べ、より低雑音な光増幅器の構成である。図 23 の場合と異なるのは、励起光波長の異なる 2 つの励起光源 23-7、24-3 を用いていることである。励起光源 24-3 が出力する励起光の波長は、励起光源 23-7 が出力する励起光の波長より短く、利得媒質 23-6 の（信号光入力方向に対して）上位部分を、図 23 に比べ、より高い反転分布状態で励起する（参考

文献: Massicot et al., Electron. Lett., vol. 28, No. 20, pp. 1924-1925, 1992)。

【0006】図25は、利得の広帯域化を図ったものではないが、本発明の構成に類似した構成の光増幅器である。増幅部が前段(増幅部25-2)および後段(増幅部25-3)に分かれており、それらの間に、帯域制限光フィルタまたは分散補償器25-4が設置してある。信号光は、おもに単一波長である。帯域制限光フィルタを用いた場合には、利得媒質が2カ所に分かれているので、レーザ発振や増幅された自然放光による増幅特性劣化を被ることなく、高利得化が可能である。分散補償器を用いた場合には、分散補償器の損失による信号対雑音比の劣化を除去することができる(参考文献: Masuda et al., Electron. Lett., vol. 25, No. 10, pp. 661-662, 1990)。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図23および図24に示した構成における、平坦利得帯域の平坦利得依存性、および、光増幅器飽和出力パワーの等化器損失依存性を、それぞれ図9(a)および図9(b)に示した。図9(a)より、平坦利得帯域は平坦利得の増加と共に減少し、平坦利得は、レーザ発振や増幅された自然放光による増幅特性劣化により、30dB程度に制限される。一方、図9(b)より、光増幅器飽和出力パワーは、等化器損失の増加と共に著しく減少する。ところが、広い平坦利得帯域を得るには、大きな等化器損失が必要とされるため、大きな光増幅器飽和出力パワーを保ったまま、広い平坦利得帯域を得ることが困難になる、という欠点が生じる。

【0008】本発明の目的は、このような欠点を解決した、広帯域な光増幅器を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のうち請求項1に記載の発明は、希土類添加ファイバを利得媒質とする長尺な利得媒質を2以上の整数であるN個に分割し、該分割した利得媒質と、該利得媒質の有効励起波長を1.53μmとなる励起光を出力する励起光源とを含むN個の増幅部と、前記N個の増幅部の各間に設置され、前記利得媒質の広波長域で有効となる(N-1)個の利得等化器とを備えたことを特徴とする光増幅器である。また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光増幅器において、前記励起光が、励起波長の異なる複数の励起光からなることを特徴としている。また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の光増幅器において、前記希土類添加ファイバは、エルビウム添加ファイバであることを特徴としている。

【0010】また、請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の光増幅器において、前記光増幅器が、該光増幅器が接続されるシリカファイバ伝送路に対しラマン増幅励起光を送る励起光源をさらに備えたことを特徴として

いる。また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の光増幅器において、前記光増幅器が、入力側に方向性結合器を備え、前記ラマン増幅励起光は、前記方向性結合器を介して前記ラマン増幅体に送られることを特徴としている。また、請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の光増幅器において、前記ラマン増幅励起光の波長が、前記光増幅器による増幅帯が広帯域化される波長であることを特徴としている。また、請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の光増幅器において、前記希土類添加ファイバが、エルビウム添加ファイバであり、前記光増幅器による増幅帯が広帯域化されるラマン増幅励起光の波長が、1.49から1.53μmの範囲であることを特徴としている。

【0011】また、請求項8に記載の発明は、請求項2に記載の光増幅器において、前記増幅部が、前記励起光源による第1の励起光波長と異なる所望の第2の励起光が信号光と同方向に発振するリング構成を備えたことを特徴としている。また、請求項9に記載の発明は、請求項8に記載の光増幅器において、前記リング構成が、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第2の励起光を狭帯域に合波・分波するWDMカプラを含むことを特徴としている。

【0012】また、請求項10に記載の発明は、請求項2に記載の光増幅器において、前記増幅部が、前記励起光源による第1の励起光波長と異なる所望の第2の励起光が信号光と逆方向に発振するリング構成を備えたことを特徴としている。また、請求項11に記載の発明は、請求項10に記載の光増幅器において、前記リング構成が、信号光および前記利得媒質による増幅光に対し前記第2の励起光の合波を行う方向性結合器を含むことを特徴としている。また、請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の光増幅器において、前記リング構成が、前記第1の励起光と同波長の励起光を発する第2の励起光源と、前記第2の励起光源による励起光を前記リング構成に光合波する合波器とをさらに備えたことを特徴としている。

【0013】

【発明の実施の形態】始めに、長尺な利得媒質を多分割し、分割した利得媒質間に利得等化器を接続した光増幅器の第1～第6の構成についてその概要を説明し、そのあとそれらの第1～第6実施形態を説明する。

【0014】§1. 概要

本発明の第1～第6の構成をそれぞれ図1～図6に示す。第1の構成である図1は、従来技術の図23と、増幅部が前段(増幅部1-2)および後段(増幅部1-3)の2つに分かれている点で大きく異なる。また、従来技術の図25とは、前段の増幅部1-2と後段の増幅部1-3の間に設置する光部品が利得等化器1-4であり、入力信号光が広帯域な多波長光である点で大きく異なる。

【0015】この第1構成での利得特性を図7(a), 図7(b), 図8に示す。図7(a)は、利得媒質の利得の波長依存性を示している。図7(a)で、利得のピーク値は約40dBであり、従来技術の場合に比べ、レーザ発振や増幅された自然放出光による増幅特性劣化がないので、高い値が得られる。前段の増幅部1-2の利得の典型値は25dBであり、後段の増幅部1-3の利得の典型値は15dBである。また、ある一定値(例えば10dBまたは20dB)以上の利得も増加している。利得等化器1-4の損失を図7(b)に示す。その損失のピーク値は、約10dBおよび20dBである。

【0016】図7(a)の利得から図7(b)の損失を引いた値が、光増幅器1-1の利得であるが、それを図8に示す。ただし、簡単のため、光部品1-8, 1-10と光部品1-12, 1-14の損失は無視した。損失ピーク値が約10dBのときの利得平坦帯域は30nmであり、損失ピーク値が約20dBのときの利得平坦帯域は50nmである。図26(c)、すなわち、従来技術における平坦利得値20dBのときの利得平坦帯域は30nmであり、図8、すなわち、本発明における平坦利得値20dBのときの利得平坦帯域は50nmであるから、本発明の構成により、利得平坦帯域が顕著に拡大したことがわかる。

【0017】図9(a)に本発明における平坦利得帯域の平坦利得依存性を示す。従来技術に比べ、利得平坦帯域が顕著に拡大したことがわかる。図9(b)に本発明における光増幅器飽和出力の等化器損失依存性を示した。本発明では、利得等化器1-4のあとに光増幅器(増幅部1-3)があるので、光増幅器飽和出力は等化器損失にあまり依存しないことがわかる。従来技術に比べ、光増幅器飽和出力が顕著に増大していることがわかる。以上のように、本発明の第1構成では、高い光増幅器飽和出力を保ったまま、広い利得平坦帯域を確保することができる。

【0018】また、利得媒質を3分割した場合の構成を図27に示す。3分割した利得媒質の間に2つの利得等化器1-4、1-4'を設置している。2つの利得等化器1-4、1-4'を用いているため、総合した利得等化器の損失ピーク値は、30dB程度に設定できる。このときの利得平坦領域は約60nmである。利得媒質を2分割した場合の利得平坦帯域は50nmであるから、3分割することにより利得平坦帯域を約10nm拡大することができる。なお、図では利得媒質を3分割までした例について示してあるが、分割数をN(Nは2以上整数)とし、分割された利得媒質を構成要素とするN個の増幅部と、その増幅部間に設けられた(N-1)個の利得等化器とを備えた光増幅器としてもよい。なお、光増幅器は、分割数Nを増やすことで、利得媒質の帯域範囲内で利得平坦帯域を徐々に拡大していくことができる。

【0019】図2は、本発明の第2の構成を示してい

る。本発明の第2構成は、図1に示す構成(第1の構成)の増幅部1-2, 1-3を、それぞれ、図2に示す構成に置き換えたものである。すなわち、図1とは、増幅部の励起光源が異なっている。図2では、図面の簡単化のため、図1との相違点のみを、図1の増幅部1-2に対応する増幅部2-1について示した。この相違点は、図1の増幅部1-3に対応する増幅部(図示略)についても同様である。本構成は、図1に比べ、より低雑音な光増幅器の構成である。図1の場合と異なるのは、励起光波長の異なる2つの励起光源1-7, 2-2を用いていることである。励起光源2-2が出力する励起光の波長は、励起光源1-7が出力する励起光の波長より短く、利得媒質1-9の(信号光入力方向に対して)上位部分を、図1に比べ、より高い反転分布状態で励起する。

【0020】図3は、本発明の第3の構成を示している。図23(従来技術)とは、伝送ファイバ23-4を増幅媒質として用い、その励起光源3-3があらたに設置されている点異なる。伝送ファイバ23-4はラマン増幅を行い、その利得は希土類添加ファイバなどの利得媒質の利得波長依存性の平坦化、すなわち、利得等化を行う波長依存性を有するようになっていく。すなわち、励起光の波長が、利得等化を行う波長のラマンシフト量(シリカファイバで約110nm)だけ、短波長側に設定されている。この第3構成の利得特性を図10に示す。総合利得(利得媒質利得-等化器損失+ラマン利得)の利得平坦帯域は、ラマン増幅を行わない場合の利得(利得媒質利得-等化器損失)の利得平坦帯域より広くなるという利点が生じている。

【0021】図4は、本発明の第4の構成を示している。図2(本発明の第2構成)と利得および雑音特性は同様であるが、構成部品がより簡易・安価・安定な構成である。低雑音特性を確保するために、励起波長が短い励起光源2-2を用いている。光部品4-2を用いて、利得媒質1-9をレーザ発振媒質とするレーザリング(光部品1-8~利得媒質1-9~光部品1-10~光部品4-2~光部品1-8)を構成する。このとき、光部品1-8および光部品1-10はレーザ発振光に対して、それぞれ合波器および分波器を有する。そのレーザ発振光は、図2(本発明の第2構成)における励起光源1-7が出力する励起光と同様の作用、すなわち、利得媒質を所望の反転分布状態に励起する作用を有する。

【0022】図5は、本発明の第5の構成を示している。図4(本発明の第4構成)と類似の構成であるが、レーザ発振光の伝搬方向が図4の場合と逆である。このとき、光部品1-8および光部品1-10はレーザ発振光に対して、それぞれ、合波器および分波器を有するが、それらは方向性の合分波器である光サーキュレータ等であることが新たに可能であり、効率も良い。レーザ発振光は信号光と逆方向に伝搬するため、信号光の波長

に関係なくレーザ発振光の波長を設定でき、部品構成の任意度が広がり、有利である。

【0023】図6は、本発明の第6の構成を示している。図5（本発明の第5構成）と類似の構成であるが、励起光源6-2を新たに設置して、励起光をレーザリングの経路を利用して追加している。したがって、総合の励起光強度を増加させ、光増幅器の飽和出力を増加させることができる。

【0024】以上、本発明の第1～第6の構成を示したが、以下に、従来技術との相違を明確にするために、従来技術および本発明の典型例の構成と、それらの構成のときの利得特性を図を用いて説明する。利得媒質は、エルビウム添加ファイバ（Er<sup>3+</sup>添加ファイバ：EDF）とした。エルビウム添加濃度は1000ppmとし、1550nmにおける信号光の未飽和吸収係数は1dB/mとする。

【0025】図11（a）、図11（b）に従来技術の第1および第2の典型例の構成を示す。図11（a）は、励起波長が1.48μmの第1の従来技術の典型例である。EDF・11-6の長さは50m、励起光パワーは100mW、利得等化器11-3のピーク損失は10dB以下である。このときの利得の波長依存性（利得スペクトル）を図12（a）に示した。平坦利得20dB、平坦帯域30nm（1535～1565nm）である。図11（b）は、励起波長が1.55μmの第2の従来技術の典型例である。EDF・12-4の長さは150m、励起光パワーは200mW、利得等化器11-3のピーク損失は10dB以下である。このときの利得の波長依存性（利得スペクトル）を図12（a）に示した。平坦利得20dB、平坦帯域40nm（1570～1610nm）である。

【0026】図13に本発明の典型例の構成を示す。2段増幅構成であり、前段のEDF・13-7の長さは100mであり、後段のEDF・13-11の長さは70mである。また、前段のEDF・13-7の利得は25dBであり、後段のEDF・13-11の利得は15dBである。その間に設置された利得等化器13-4のピーク損失は20dBである。総合した利得スペクトルを図12（b）に示す。平坦利得20dB、平坦帯域50nm（1550～1600nm）である。上記の従来技術および本発明の典型例の利得スペクトルを比較すると明らかなように、本発明の構成を採用することにより、平坦帯域が顕著に拡大した。

【0027】上記のように、本発明では、利得媒質を2ヶ所または3ヶ所以上に分けて設置することにより、総合利得を、レーザ発振や増幅された自然放出光による利得劣化の影響なく増大させるとともに、ある一定以上の利得を有する帯域を、従来技術に比べ、増大させている。また、利得等化器の損失値を大きくとって、利得平坦帯域を従来技術に比べ、広げることが可能にしてい

る。さらに、利得等化器の後段に利得媒質を設置する構成をとっているため、利得等化器の損失値を大きくとっても、光増幅器の飽和出力を大きく保つことができ、利得等化器の損失値を大きくとったとき、光増幅器の飽和出力が顕著に低下する従来技術の欠点を克服している。

#### 【0028】§2. 第1実施形態

以下、図面を参照して、この発明の第1実施形態について説明する。図14は、この発明の第1実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。本実施形態では、利得媒質としてエルビウム添加ファイバ（Er<sup>3+</sup>添加ファイバ：EDF）を用い、2段増幅構成をとっている。エルビウム添加濃度は1000ppmとし、1550nmにおける信号光の未飽和吸収係数は1dB/mとする。前段のEDF・14-8の長さは100mであり、後段のEDF・14-12の長さは70mである。励起光源14-6、14-10は、1.53μmの半導体レーザ（LD）であり、励起光パワーは100mWである。励起光と信号光の合波器14-7、14-11は誘電体多層膜フィルタ、利得等化器14-4はSplit Beam Fourier Filter（フーリエフィルタ）である。利得等化器（フーリエフィルタ）14-4のピーク損失は17dBである。前段のEDF・14-8の利得は25dBであり、後段のEDF・14-12の利得は15dBである。光アイソレータをレーザ発振防止のため、前段の増幅部に2個、後段の増幅部に1個設置している。なお、利得等化器14-4は、利得平坦帯域が拡大し、利得媒質の広波長域で有効なパラメータ設定されるものとする。

【0029】本発明の第1実施形態の利得スペクトルを図15に示した。平坦利得17dB、利得平坦帯域50nmを得ている。また、1.54～1.61μmの多波長信号入力（例えば、20波、100波）のときの飽和出力は約15dBmであり、十分高い。ただし、合波器14-7、14-11、光アイソレータ14-9、14-13、利得等化器（フーリエフィルタ）14-4の挿入損失は各1dBとした。

#### 【0030】§3. 第2実施形態

次に、この発明の第2実施形態について説明する。図16は、この発明の第2実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。図14（第1実施形態）とは励起光源部が異なる。他は第1実施形態と同様である。励起光源16-4、16-8は、波長1.48μm、出力光パワー100mWのLDであり、励起光源16-6、16-10は、波長1.55μm、出力光パワー1mWのLDである。EDF・14-8、14-12内に入射した1.48μmの励起光は、該EDF・14-8、14-12に吸収され、一方、1.55μmの励起光は、該EDF・14-8、14-12中で増幅される。その結果、該EDF・14-8、14-12の上位部では1.48μmの励起光パワーが支配的である

が、下位部では1.55 $\mu$ mの励起光パワーが支配的になる。総合的には、1.53 $\mu$ mで励起した第1実施形態と同じ利得を得ることができる。さらに、上位部での反転分布が1.48 $\mu$ m励起により高まるので、雑音特性が向上する。具体的には、雑音指数が低減される。図17に第2実施形態および第1実施形態における雑音指数の信号光波長依存性を示す。第2実施形態の方が雑音指数が低くなっていることがわかる。

#### 【0031】§4. 第3実施形態

次に、この発明の第3実施形態について説明する。図18は、この発明の第3実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。図14（第1実施形態）とは、ラマン増幅を加えている点異なる。伝送ファイバ（シリカファイバ）18-4を、波長1.51 $\mu$ m、出力光パワー200mWの励起光源（LD）・18-6で励起している。伝送ファイバ18-4は、60kmの分散シフトファイバである。1.61 $\mu$ mでのラマン利得は5dBである。図19に本実施形態による利得スペクトルを示す。第1実施形態に比べ、平坦利得で10dB、利得帯域で25nmの向上がある。

【0032】なお、合波器18-5として方向性結合器である光サーキュレータを用いるとよい。なぜならば、伝送ファイバに対する励起波長（1.51 $\mu$ m）と信号光の方向が異なることから、光サーキュレータによる光の合波が容易に行えるからである。また、合波器18-5としてWDM（Wavelength Division Multiplexing）カプラを用いる場合に比べ、光サーキュレータを用いることにより励起波長近くの信号光の光増幅も可能となり、光増幅する帯域の広帯域化を図ることが可能となるからである。

#### 【0033】§5. 第4実施形態

次に、この発明の第4実施形態について説明する。図20は、この発明の第4実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。本実施形態は、図16（第2実施形態）とは、前段および後段の増幅部におけるEDFの励起部の構成が異なる。したがって、図20では、前段の増幅部20-1のみ示した。後段の増幅部（図示略）の構成は、前段の増幅部20-1の構成と同様である。励起光源16-4は、波長1.48 $\mu$ m、出力光パワー100mWのLDである。波長1.55 $\mu$ mのLDを用いる代わりに、リングレーザを構成し、波長1.55 $\mu$ mの高強度レーザ発振光を発振させている。リングレーザは、EDF・14-8、リングレーザ用合波器（合波器20-2、20-3）、狭帯域透過光フィルタ20-6、可変減衰器20-5、および、光アイソレータ20-4で構成されている。合波器20-2、20-3は、レーザ発振光波長のみ狭帯域に合波・分波するWDM（Wavelength Division Multiplexing）カプラを用いると良い。得られる増幅特性は、第2実施形態の場合と同じである。本構成では、励起光源（LD）が1

個で済むため、構成が簡易・高安定などの利点がある。

#### 【0034】§6. 第5実施形態

次に、この発明の第5実施形態について説明する。図21は、この発明の第5実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。図20（第4実施形態）とは、リングレーザを構成するにあたって、光アイソレータ20-4、リングレーザ用合波器（合波器20-2、20-3）を用いず、光サーキュレータ21-2、21-3を用いている点異なる。光サーキュレータ21-2、21-3を用いることにより、光部品点数が減り、構成が簡易になるなどの利点がある。

#### 【0035】§7. 第6実施形態

次に、この発明の第6実施形態について説明する。図22は、この発明の第6実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。図21（第5実施形態）とは、リングレーザのループを用いて励起光源を1個増設している点で異なる。これにより、信号光利得の劣化なしに総励起光パワーを増大して、信号光飽和出力を増大させることができるなどの利点がある。

【0036】なお、上記第1～第6実施形態では、増幅部が2段ありその間に利得等化器を設けた構成を例にして説明したが、各実施形態において説明した増幅部をN段（Nは2以上の整数）設け、それぞれの増幅部の間に利得等化器を設けた構成としてもよい。

【0037】以上、この発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。

#### 【0038】

【発明の効果】以上、本発明によれば、従来技術に比べ、利得平坦帯域が広く、かつ、高飽和出力・低雑音な光増幅器を実現できるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の第1の構成を示すブロック図である（利得媒質を2分割した場合）。

【図2】 この発明の第2の構成を示すブロック図である。

【図3】 この発明の第3の構成を示すブロック図である。

【図4】 この発明の第4の構成を示すブロック図である。

【図5】 この発明の第5の構成を示すブロック図である。

【図6】 この発明の第6の構成を示すブロック図である。

【図7】 この発明の第1の構成の特性を示すグラフである。

【図8】 この発明の第1の構成の特性を示すグラフである。

【図9】 この発明の第1の構成および従来技術の特性

を示すグラフである。

【図10】 この発明の第3の構成の特性を示すグラフである。

【図11】 従来技術の典型例の構成を示すブロック図である。

【図12】 この発明および従来技術の典型例の特性を示すグラフである。

【図13】 この発明の典型例の構成を示すブロック図である。

【図14】 この発明の第1実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図15】 第1実施形態の利得スペクトルを示すグラフである。

【図16】 この発明の第2実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図17】 第1実施形態および第2実施形態の雑音指数スペクトルを示すグラフである。

【図18】 この発明の第3実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図19】 第3実施形態の利得スペクトルを示すグラフである。

【図20】 この発明の第4実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

幅器の構成例を示すブロック図である。

【図21】 この発明の第5実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図22】 この発明の第6実施形態による広帯域光増幅器の構成例を示すブロック図である。

【図23】 従来技術の光増幅器の第1の構成例を示すブロック図である。

【図24】 従来技術の光増幅器の第2の構成例を示すブロック図である。

【図25】 従来技術の光増幅器の第3の構成例を示すブロック図である。

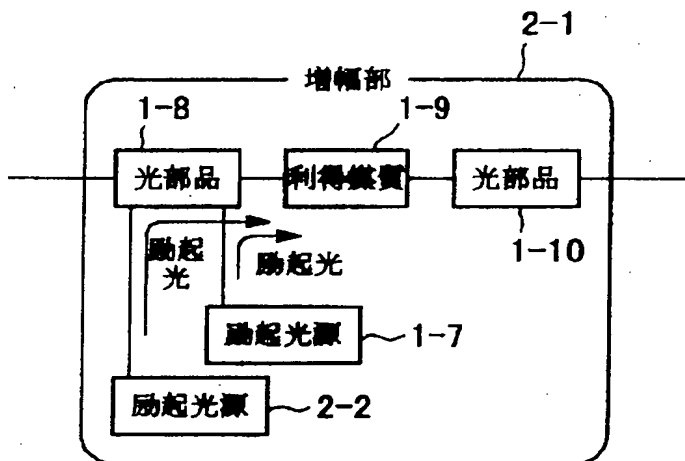
【図26】 図23の構成の光増幅器の特性を示すグラフである。

【図27】 この発明の第1の構成を示すブロック図である（利得媒質を3分割した場合）。

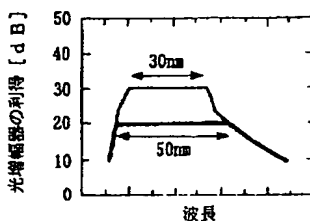
【符号の説明】

1-1……光増幅器、 1-2, 1-3……増幅部、 1-4……利得等化器、 1-5, 1-6……伝送ファイバ、 1-7, 1-11……励起光源、 1-8, 1-10, 1-12, 1-14……光部品、 1-9, 1-13……利得媒質

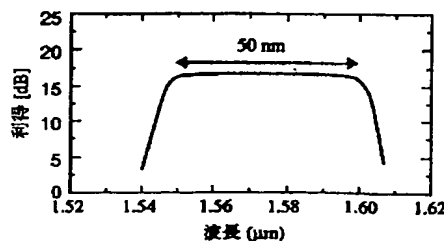
【図2】



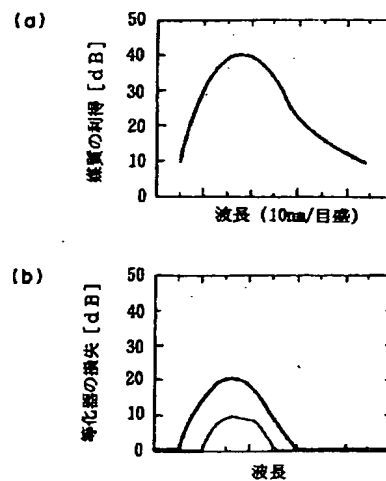
【図8】



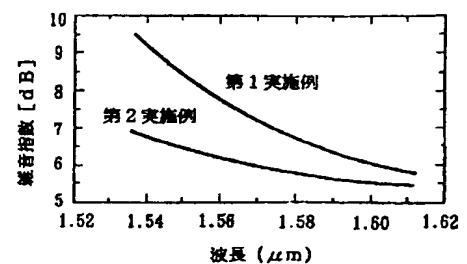
【図15】



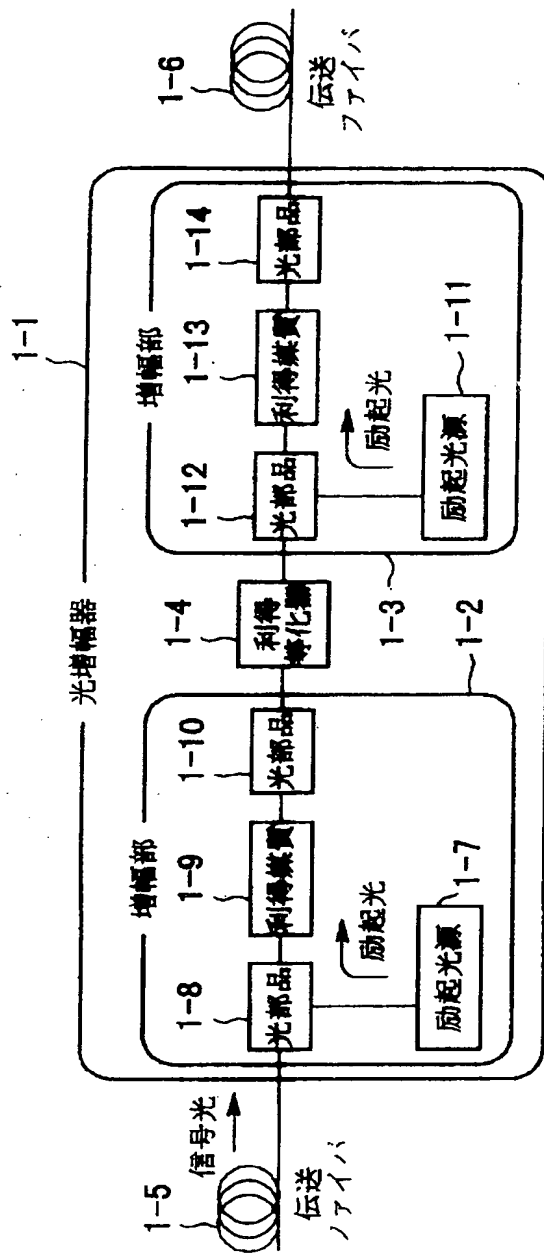
【図7】



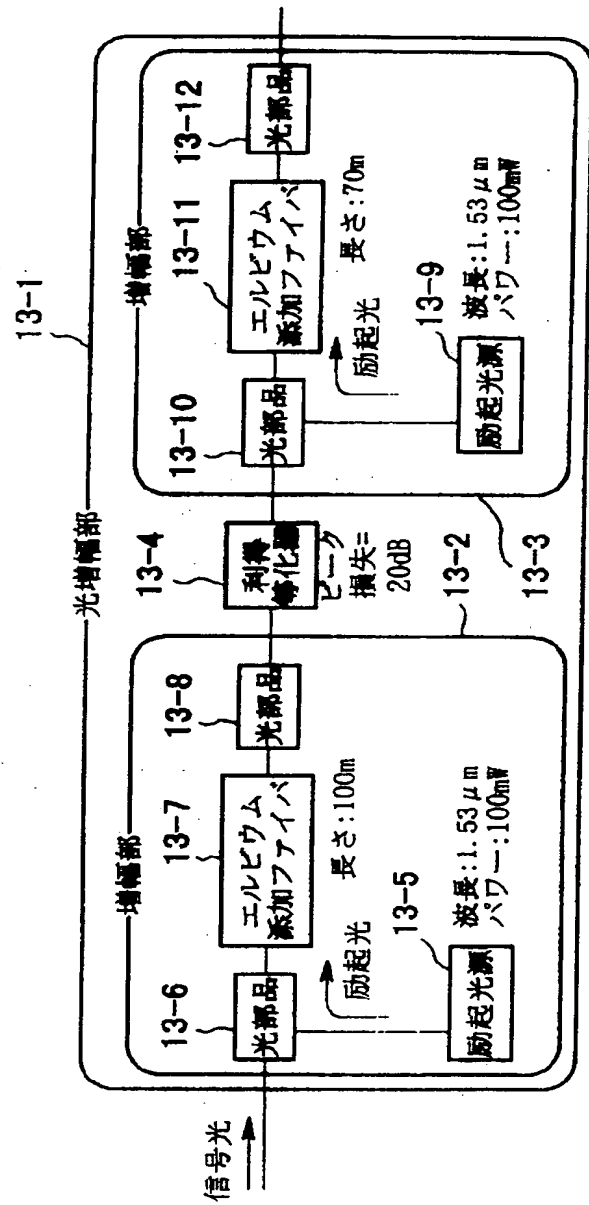
【図17】



【図1】

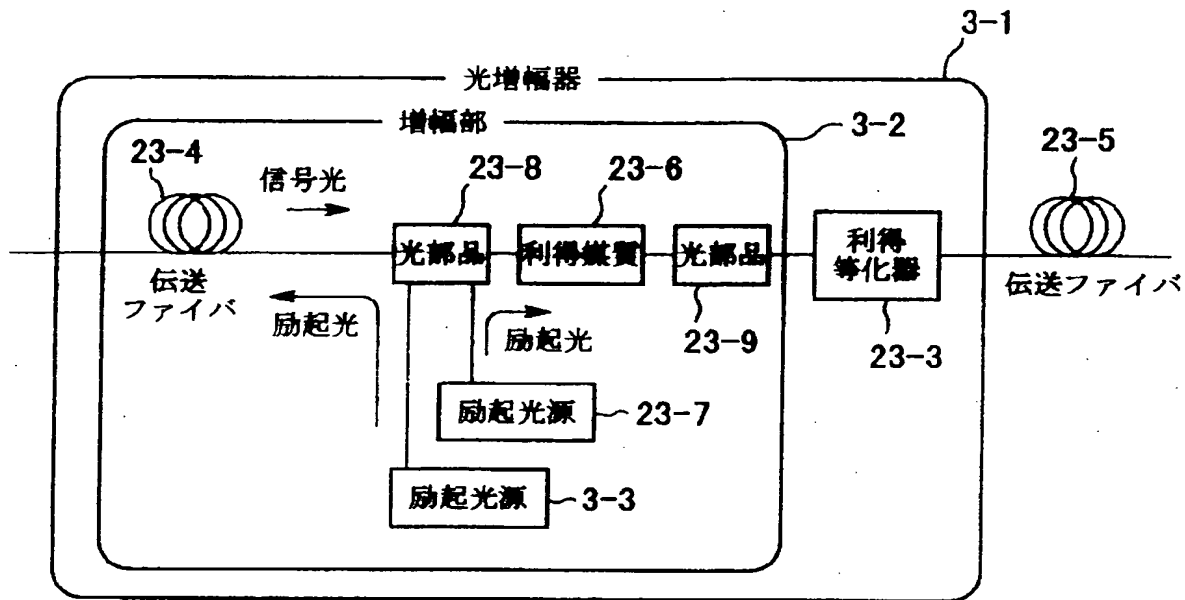


【図13】

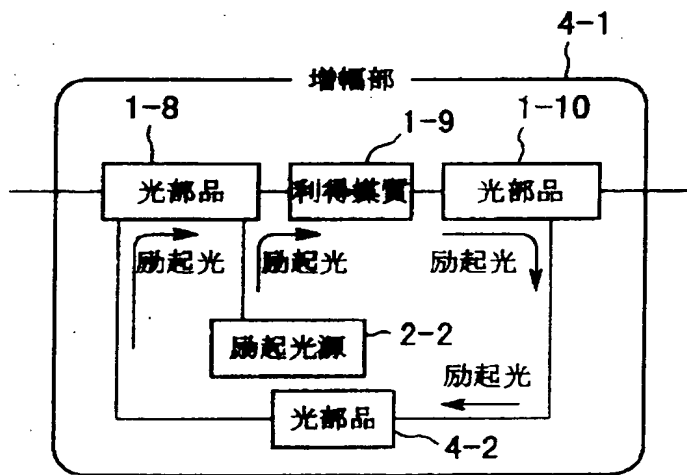




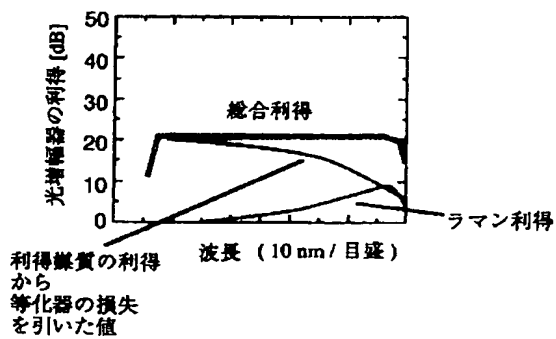
【図3】



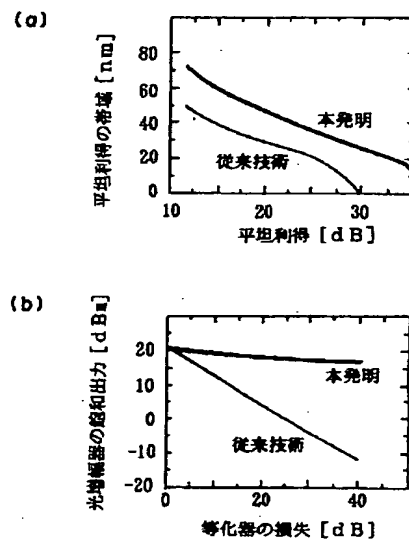
【図4】



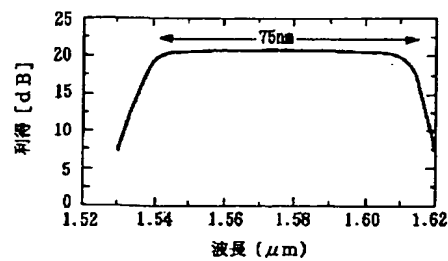
【図10】



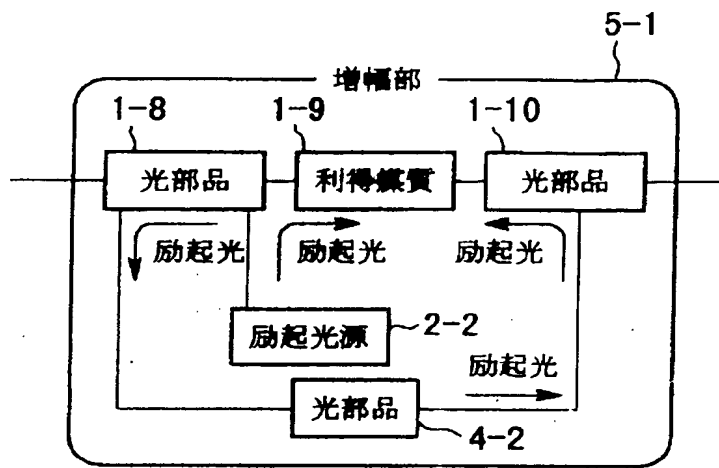
【図9】



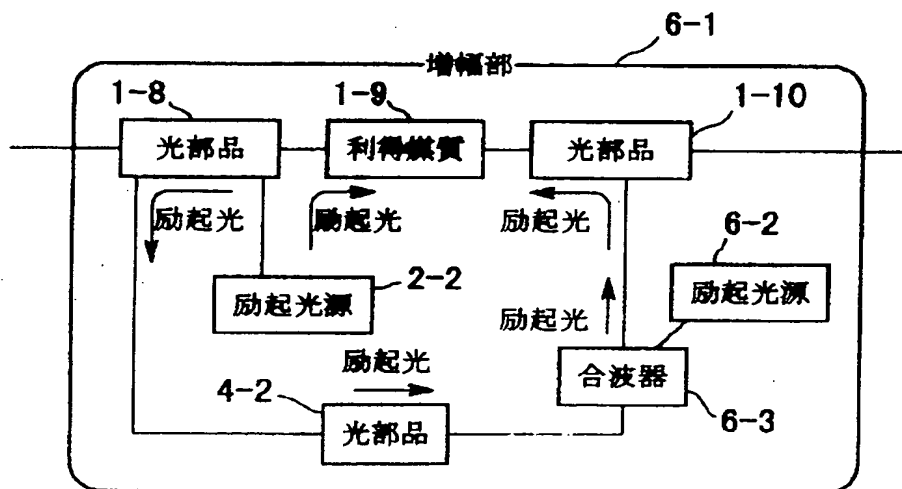
【図19】



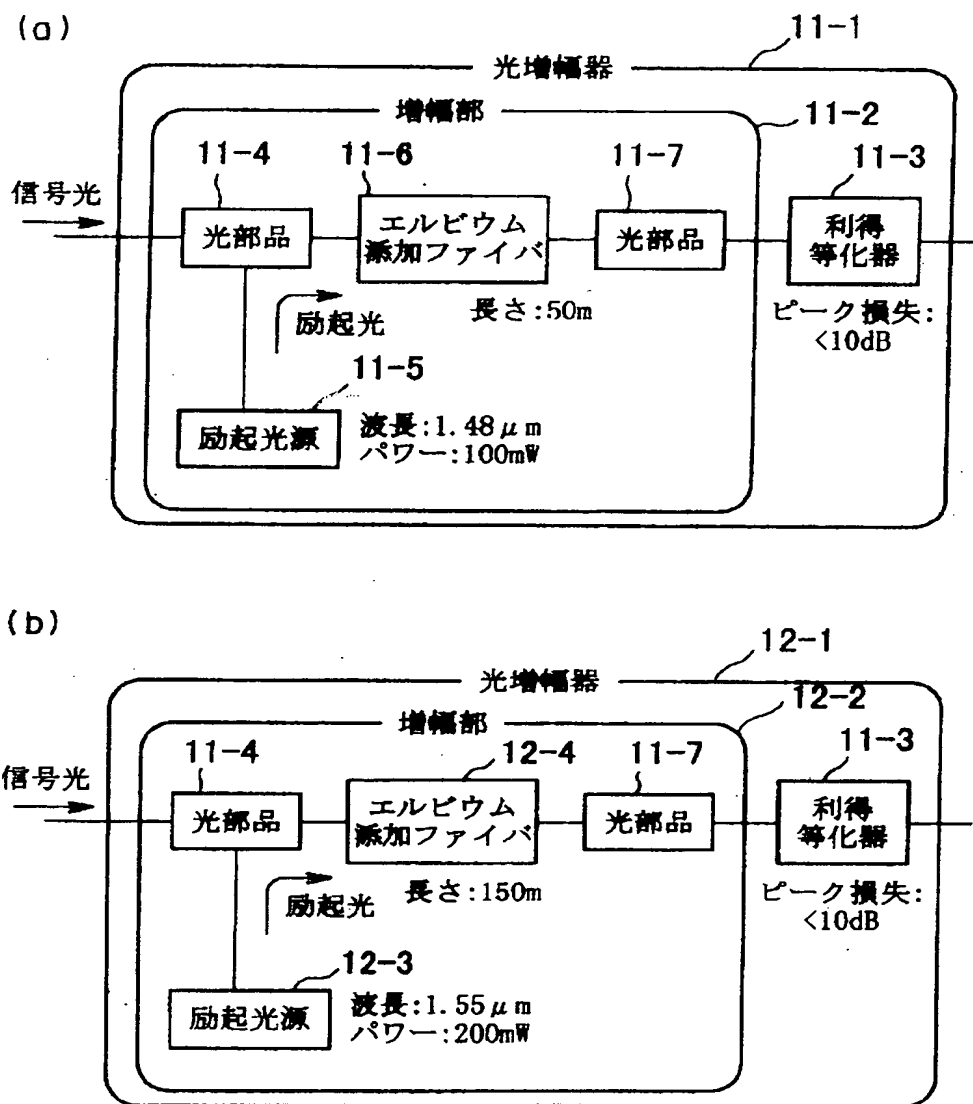
【図5】



【図6】

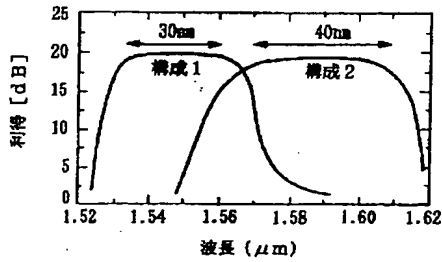


【図11】

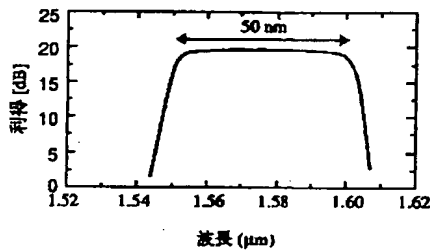


【図12】

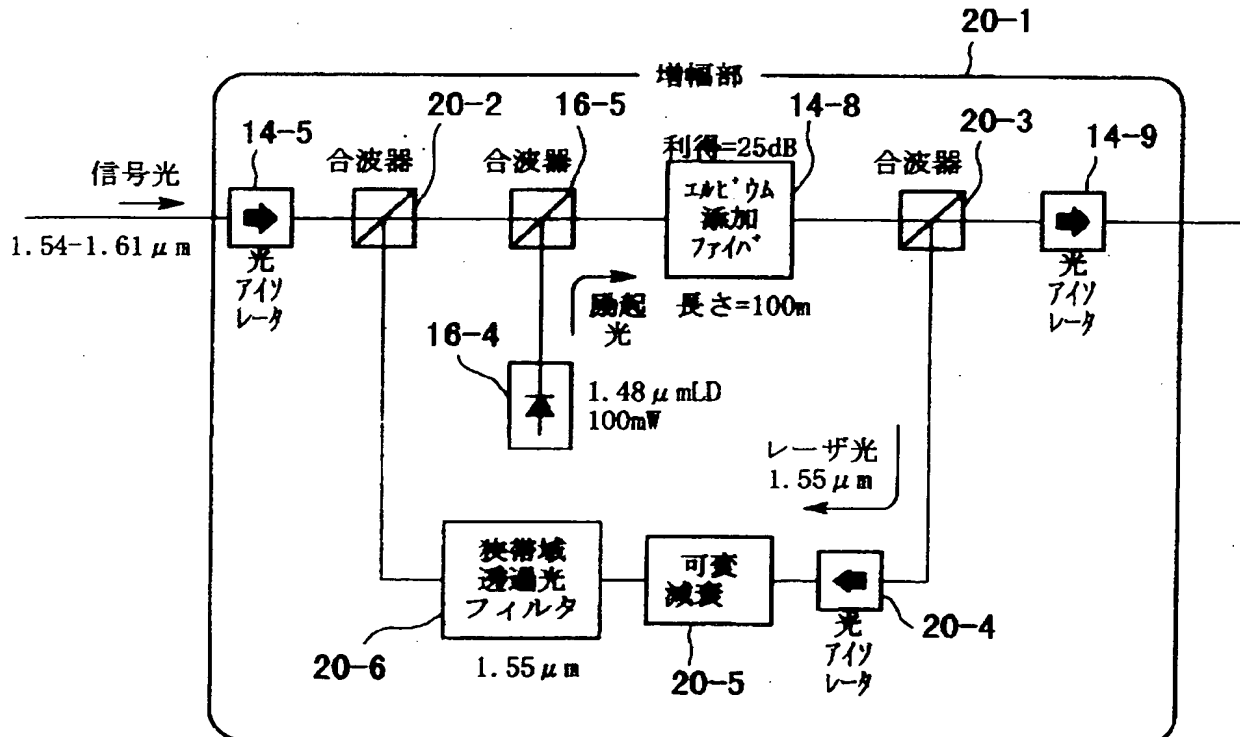
(a)従来技術



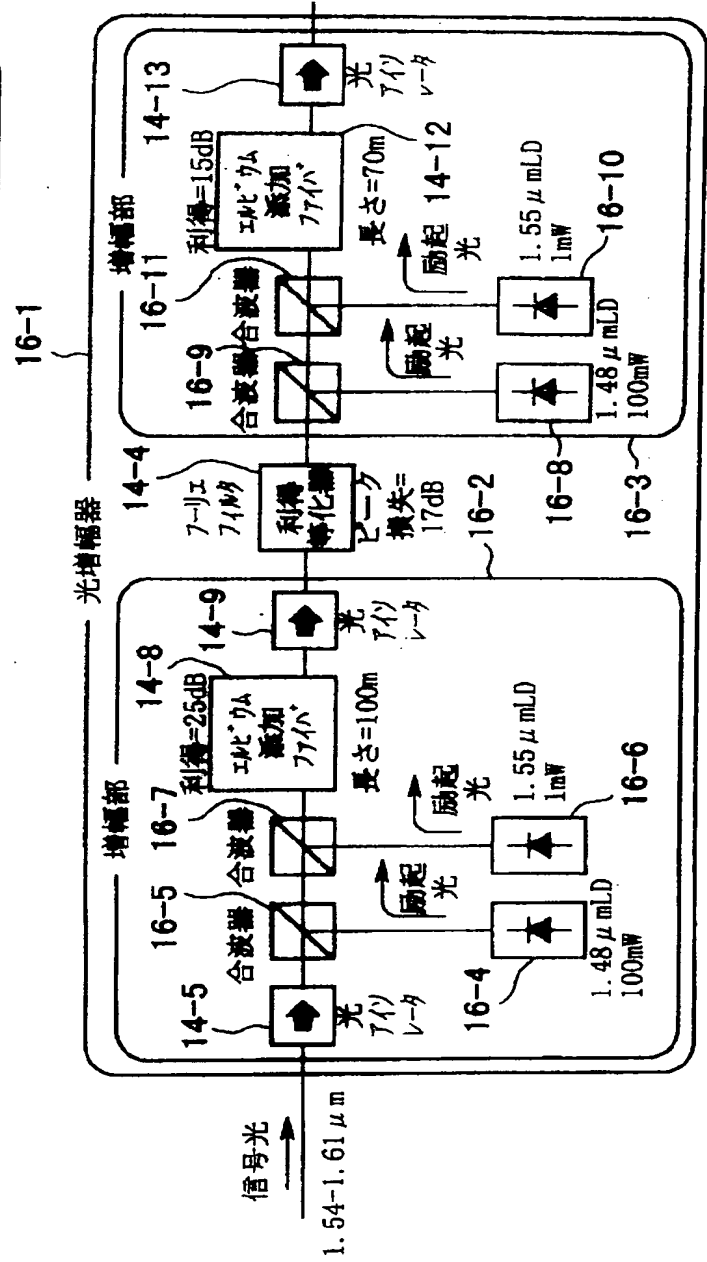
(b)本発明



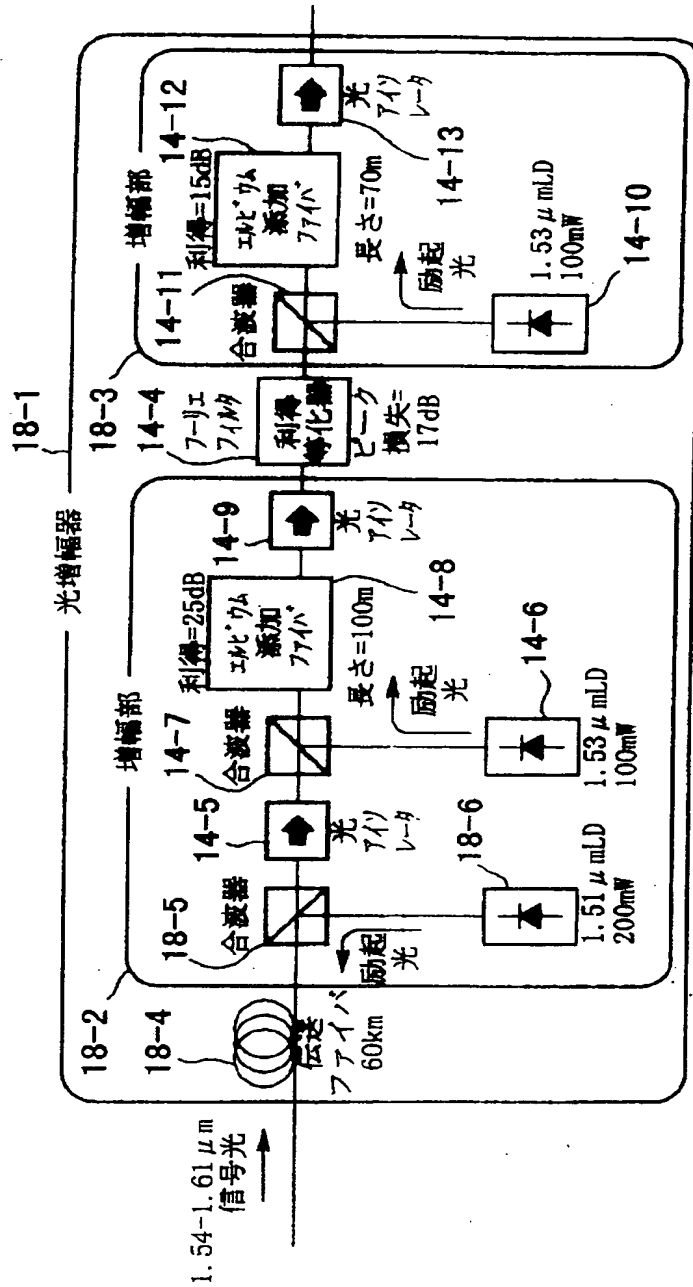
【図20】



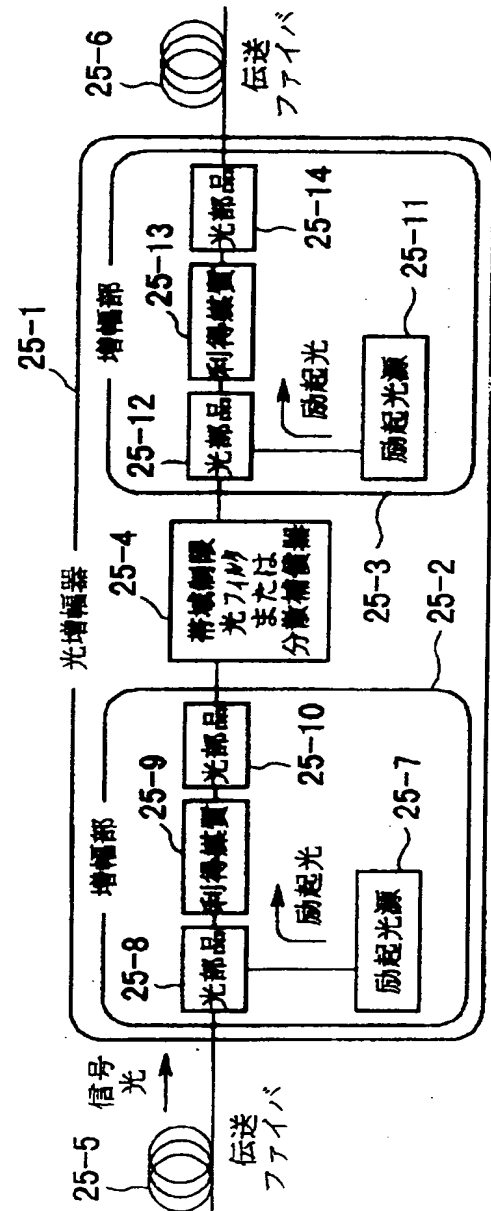
【図 16】



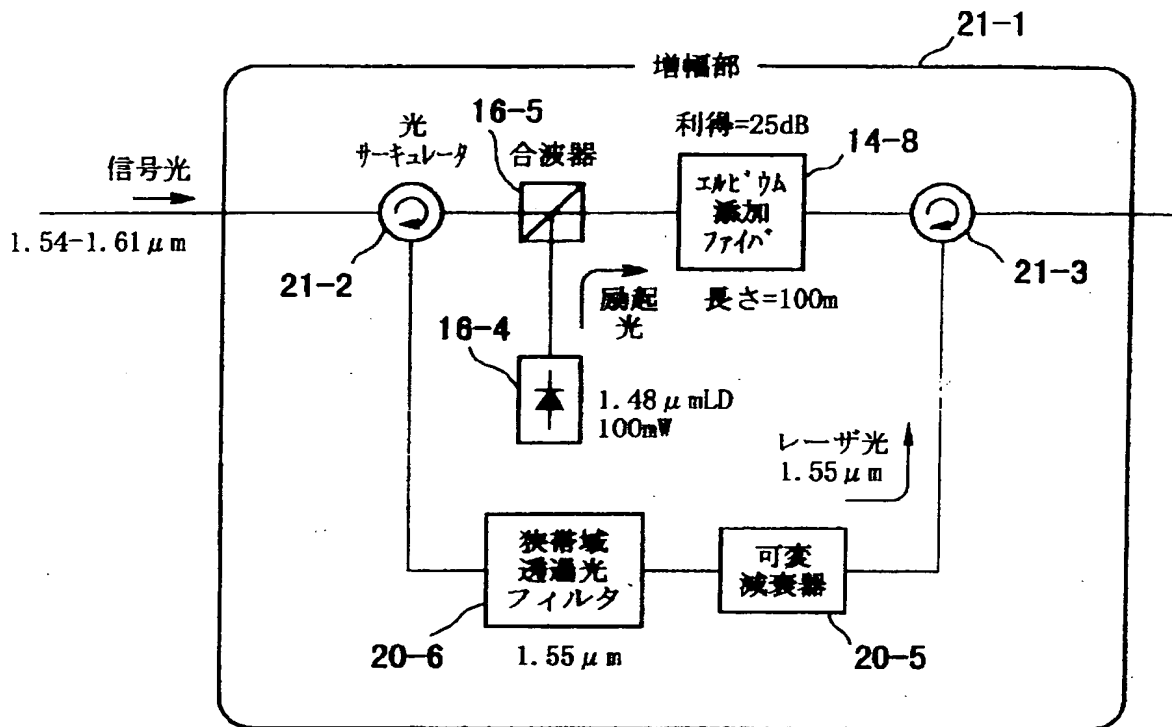
【図18】



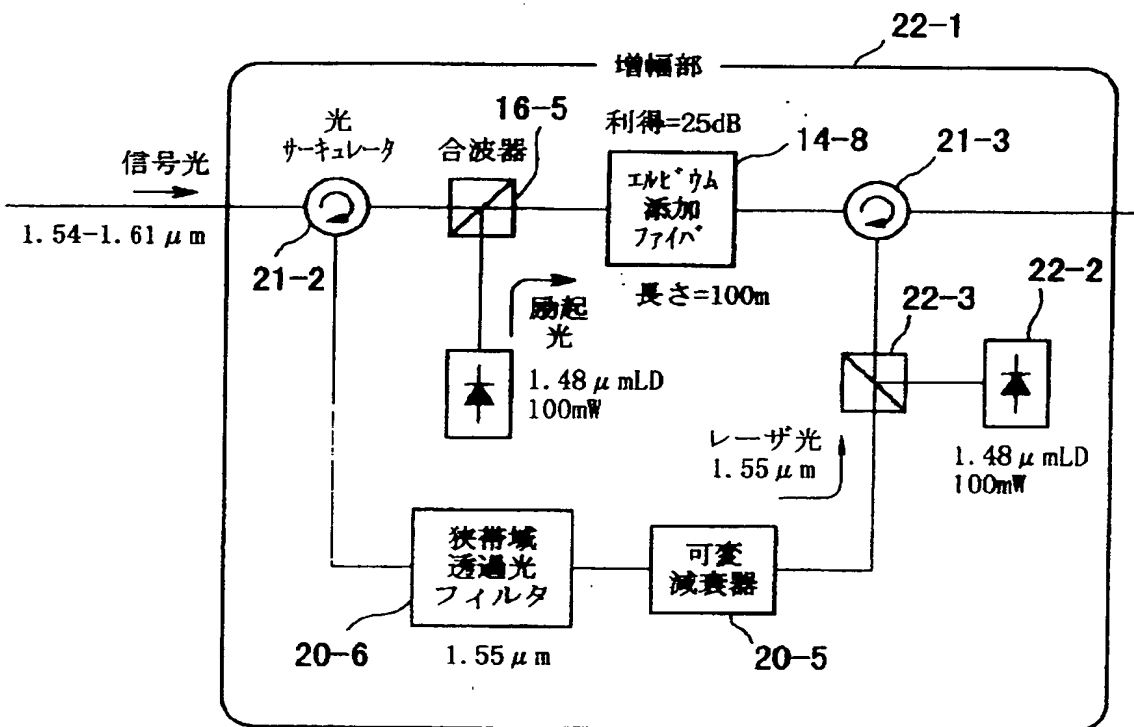
【図25】



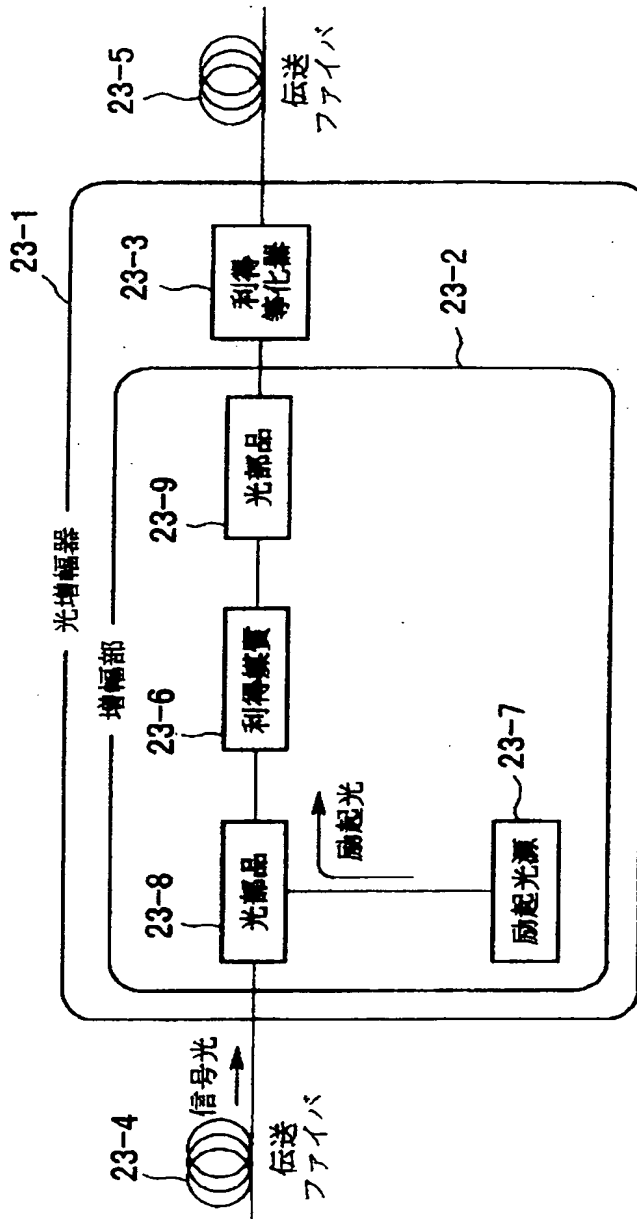
【図21】



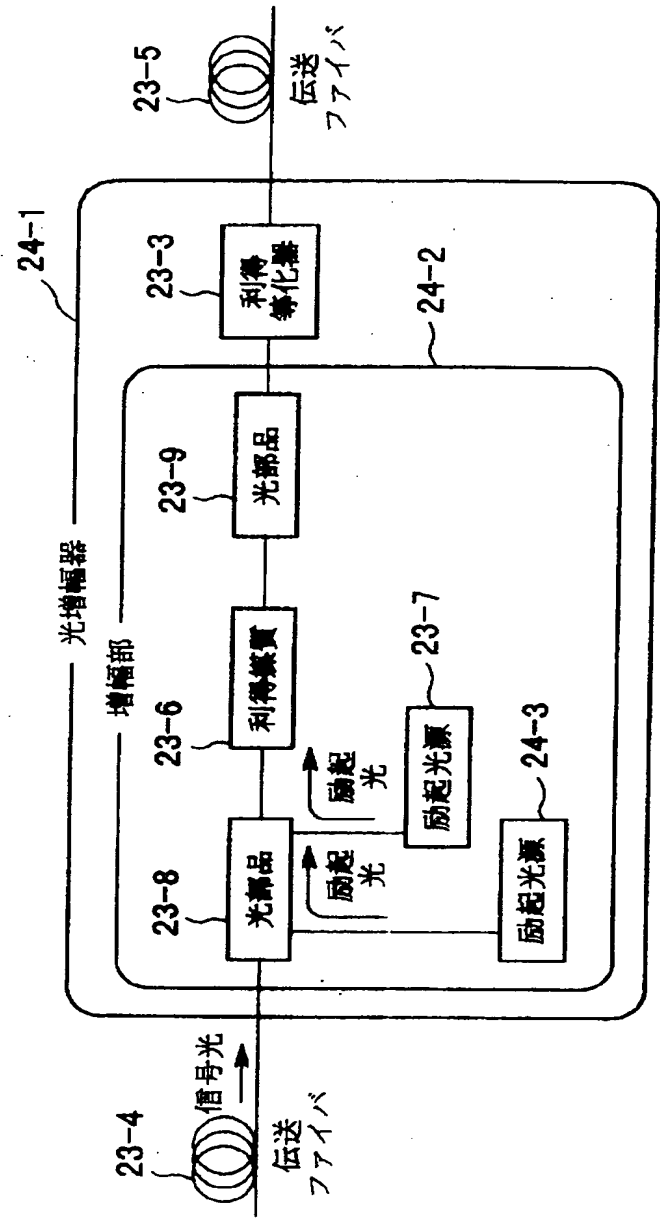
【図22】



【図23】

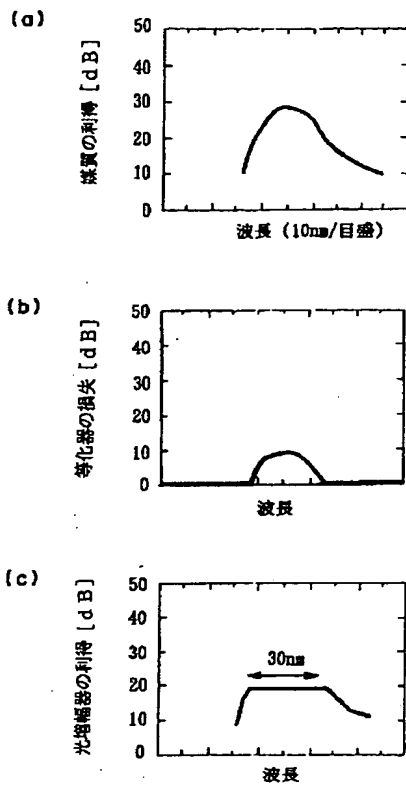


【図24】

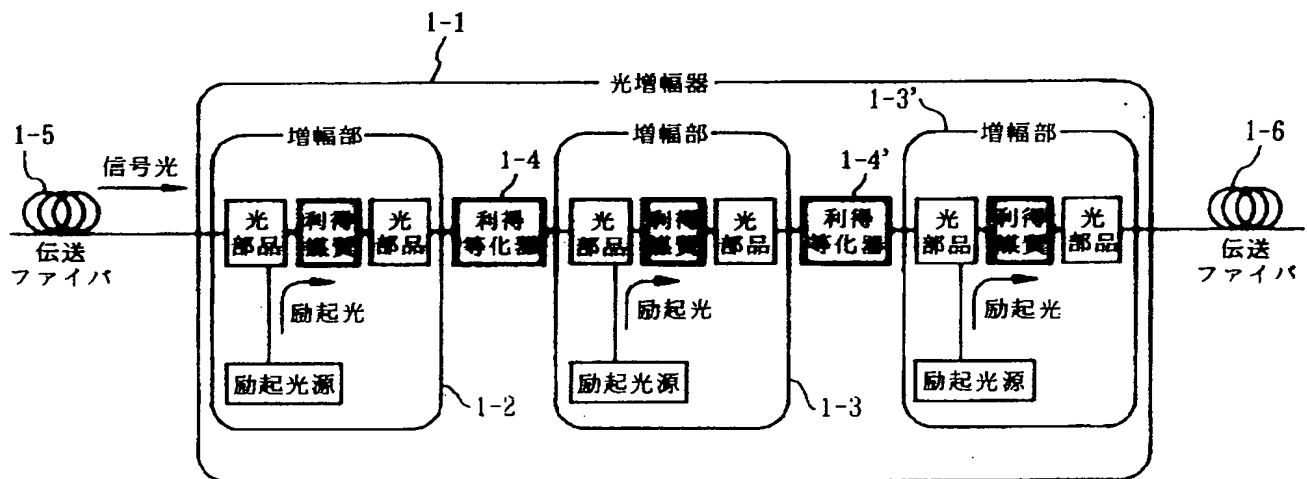




【図26】



【図27】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

10/18

(72) 発明者 河合 伸悟  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内